

# 行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

## 基因演算法應用於公車區位路徑選擇之研究 A Study of the Application Genetic Algorithm for Bus Location Routing Problem

計劃編號: NSC88-2211-E032-017

執行期限: 87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人: 邱顯明副教授

執行機關及單位名稱: 私立淡江大學運輸管理學系

計劃編號: NSC88-2211-E032-017

執行期限: 87年8月1日至88年7月31日

主持人: 邱顯明

淡江大學運輸管理學系暨運輸科學研究所副教授

### 中文摘要

本研究最主要係探討淡水地區捷運系統轉乘公車之一組多條最佳路網及乘客轉運行為研究分析, 本研究主要可分成二大部份探討, 第一部份則是針對淡水地區捷運三個主要車站竹圍, 紅樹林及淡水進行乘客轉乘旅運行為之問卷調查, 主要探討目標是以乘客之旅運行為及轉乘運具選擇分析為主, 本部份已於88年8月發表於第七屆海峽兩岸都市交通學術研討會。第二部份則針對第一部份乘客旅運行為調查結果, 分別利用啟發解法及基因演算法求解最佳轉乘路網設計; 利用本研究新提出之新基因演算法, 以固定路線長度方式, 利用群體位元作為新子代的交配, 最後並提出新子代的改善方法, 在業者及使用者的旅行總成本最小之下探討其最佳轉乘之公車路線、路網規劃之設計; 本部份則將於近期內發表。

以下為該二部份的詳細章節內容:

---

**第一部份**(本部份已於88年8月發表於第七屆海峽兩岸都市交通學術研討會)

(1) 題目: 捷運轉乘運具選擇行為之研究-以淡水地區為例

An Study on the Disaggregate Choice Behavior of the Tamsui line Rapid Transit passengers

摘要

前言

研究內容與範圍

基本分析

交叉分析

結論與建議

**第二部份**(本部份將於近期內發表)

(2) 題目: 基因演算法應用於公車區位路徑選擇之研究

A Study of the Application Genetic Algorithm for Bus Location Routing Problem

摘要

前言

問題描述

啟法解法之建立

基因演算法

基因演算法求解捷運轉乘公車的LRP基本架構

例題測試-以淡水地區為例

結論與建議

第七屆海峽兩岸  
都市交通學術研討會  
1999 年 8 月 23 日~26 日

## 捷運轉乘運具選擇行為之研究-以淡水地區為例 An Study on the Disaggregate Choice Behavior of the Tamsui line Rapid Transit passengers

邱顯明<sup>1</sup> 謝國倫<sup>2</sup>

1. 淡江大學運輸管理學系暨運輸科學研究所副教授

2. 淡江大學運輸科學研究所碩士班研究生

### 摘要

本研究最主要目的係探討在都市中捷運旅客轉乘運具選擇行為之研究,以一實例-淡水地區內的捷運三個主要車站:竹圍、紅樹林及淡水站;針對乘客對於不同運具的選擇及其轉運行為作分析;所分析研究的範圍包括台北縣淡水鎮及三芝鄉;在資料的蒐集上係利用實際到各車站進行訪查;主要對象係以每天通勤的乘客為主;因此訪談的時段為每週一至五,上午 07:00~09:00 中午 12:00~14:00 下午 16:00~18:00 及晚上 18:00~20:00 四個時段。

本研究所獲得的研究資料成果,將可作為將來探討淡水地區捷運轉乘或公車路網規劃參考;本次的研究調查包括:旅行者旅次特性的調查、旅行者運具使用特性調查及旅行者對公車系統的偏好及其它相關運具的偏好調查;在本研究中並對主要運具與旅行者進行交叉分析及針對旅行者對於二次轉乘公車票價作交叉分析;以瞭解旅客特性與各種運具和轉乘公車的相關性,最後為瞭解不願意搭乘公車的乘客及不願意進行二次轉乘公車與不同乘客類型因素之相關性。

### 一、前言

在都市中捷運系統的轉乘運具是扮演都市運輸中相當重要角色,回顧國內有關於捷運通車後的旅客轉乘行為與旅行者對於選擇轉乘運具行為特性分析均以通車前與通車後模式即事前與事後模式作一比較及評估;但是往往一條捷運系統之興建從事前至完成這旅行者的運具選擇行為效用是否已隨所得增減改變而改變,因此本研究在此僅保守單純探討其興建事後之旅行者對於其轉乘運具選擇及轉運行為作一研究,並以目前已通車的一個地區作實例探討及分析,以作為實務界將來在進行都市中捷運轉乘大眾運輸工具之路網興建或是設計輕軌運輸系統有一更準確的需求預測,讓都市中的捷運系統能充份與轉運系統配合以使都市運輸能充份發揮其最佳功用。回顧國內有關於捷運轉乘運具之選擇的相關文獻研究分析上就其旅行者轉乘的基本資料及運具選擇分析上,在捷運系統尚未通車之前比較重要研究有劉士仙,邱顯明(民國 87)針對淡水線行為捷運系統尚未通車前,其交通及土地使用之調查;調查的內容則包括旅行者基本資料分析及旅次行為特性分析;另外在以捷運通車前與通車後旅行者其個體運具選擇模式比較研究則有陳敦基(民國 87),針對木柵線捷運通車前與通車之後其個體運具之改變,以電話隨機抽樣訪問

方式,針對捷運搭乘意願與票價及通車前與通車之後運具使用情形分佈,利用構建多元結構模式與巢式模式在其通車之前與之後模式參數校估;作為其通車前後運具選擇模式的研究及比較。

因此在本文後續架構中第二節為界定本研究之內容與範圍,第三節則是探討本研究所調查的一些基本資料的分析,第四節則為分析其不同類型乘客與轉乘之間的交叉分析;最後則為本研究的結論與建議。

## 二、研究內容與範圍

在目前國內的一般運輸規劃中,有關運具之需求分析多以旅行者在既有運具市場中實際發生的選擇行為(即顯示性偏好)為資料;故本研究係以民國八十八年四月一日至四月三十日止於台北縣淡水地區內的三個捷運站、針對這三個地區的上下班(學)通勤旅客進行問卷工作;主要係以探討非假日期間通勤者對運具選擇作分析,調查時段區分上午 0700~0900 中午 1200~1400 及下午 1600~1800 和 1800~2000 共計四個時段:

依本研究所需要其內容包括:

1. 旅行者旅次特性調查項目
  - (1)旅次目的地及性質
  - (2)旅行者的社經特性
2. 旅行者運具使用特性調查
  - (1)離開捷運站主要使用運具使用特性調查
  - (2)二次轉乘公車之意願調查

本研究綜合考量各種不同的調查方式之優缺點與準確性後,為求本研究的準確性與成本考量;所以採派調查員至該地區內三個捷運站內以現場問卷方式來進行。

## 三、基本分析

本節就受訪的搭乘旅客之性別,年齡,教育程度,職業及所得等特性進行次數分配分析,用以瞭解目前搭乘捷運及轉乘公車或其它運具的乘客基本情境,以作為本研究後續之交叉分析基礎。

### 1. 旅客性別分析:

就所分析出的資料而言,男女生性別比分佈幾乎相等,由分析出結果實際受訪比例約為:54%:46%;與陳敦基(民國 87)所作木柵線分析比例幾乎相等;詳細數據見表一所示

表一、受訪旅客之性別統計分析

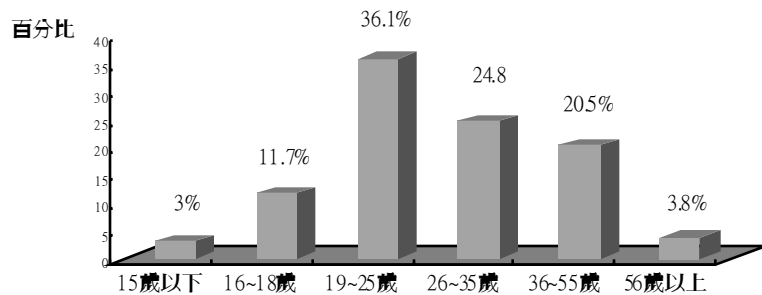
性別	樣本人數	樣本百分比(%)
男	768	55
女	620	45

#### 1. 旅客年齡分析

受訪之年齡層在此區分為 0~15 歲, 16~18 歲, 19~25 歲, 26~35 歲, 36~55 歲及 56 歲以上共六個層級; 業經分析後, 年齡層集中在 19~25 歲最多佔 36.1%, 而若以 35 歲以下區分則佔 75.7%, 其次為 26~35(24.8%)次之; 再者依序為 36~55 歲(20.5%), 16~18 歲(11.7%), 56 歲以上(3.8%), 15 歲以下(3.0%)。

實際的分佈情形如圖一:

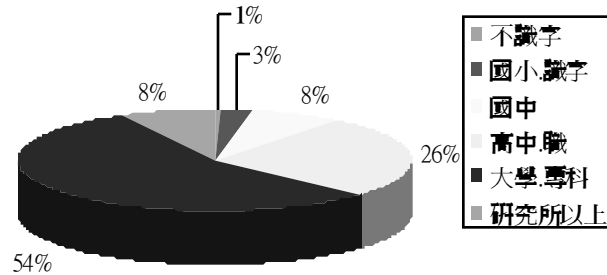
圖一、旅客年齡分析



#### 2. 旅客教育程度分析

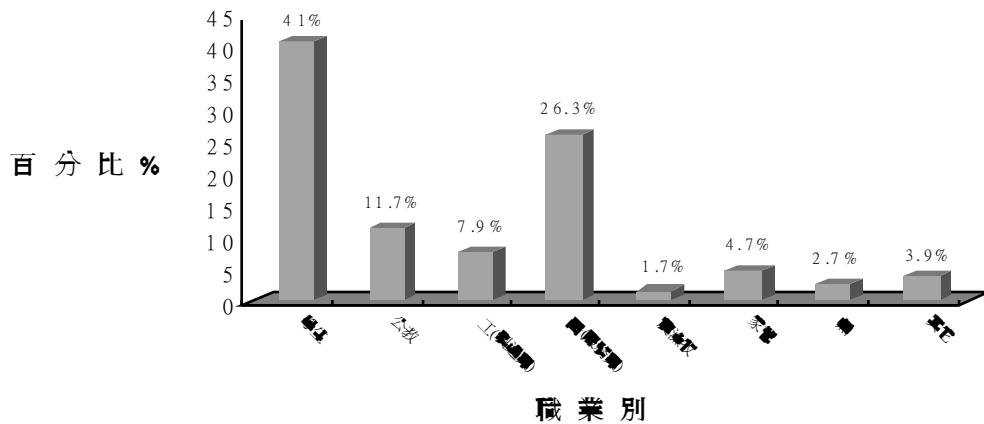
受訪旅客教育程度以大學, 專科 769(55.4%)佔二分之一以上為最多, 高中, 職 363(26.1%)約佔五分之一次之; 而國中, 小以下及研究所以上各佔 7.8%~0.5%為最少; 由此可看出使用先進運輸系統中, 大多為使用者教育程度以大專以上程度者的接受率為最高。

圖二、旅客教育程度分析



### 3. 旅客職業分析

受訪乘客中依其職業來分以學生 570(41%)佔最多，其次為商(服務)365(26.3%)次，其餘分別為公教 162(11.7%)，工(製造業)(7.9%)家管 65(4.7%)其它 54(3.9%)及無 38(2.7%)，農漁牧 24(1.7%)最低，與劉士仙、邱顯明(民國 84)針對淡水線行為捷運系統尚未通車前，其交通及土地使用之調查，在其職業調查分析中以學生佔最多 40% 相同，顯見其通車後旅客仍以學生為最多。



圖三、旅客職業分析

### 4. 受訪旅客月所得分析

從職業分析可看出由於受訪者以學生佔多數故在所得的分析中，受訪者的所得以 10000 元以下 574 人(41.3%)為最高，其次為 30000~39999 元 208 人之(15%)次之；依序為 20000~29999 元 173 人(12.5%)，40000~49999 元 151 人(10.5%)10000~19999 元 100 人(7.2%)及 50000~59999 元 98 人(7.1%)，60000~69999 元 34 人(2.4%) 70000~79999 元 24 人(1.7%)，80000~89999 元 23 人(1.7%)及 90000 元以上 4 人( 0.3%)。

## 5. 旅客搭乘行為特性分析

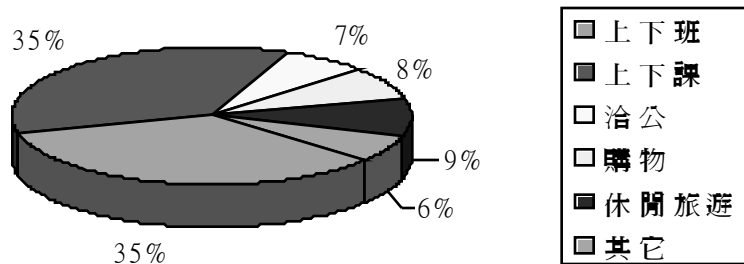
本部份就搭乘捷運之行為特性進行分析, 內容包括搭乘目的、目的地及運具選擇。

### 一、一般旅次部份

#### (1). 搭乘目的分析

圖四、搭乘目的分析

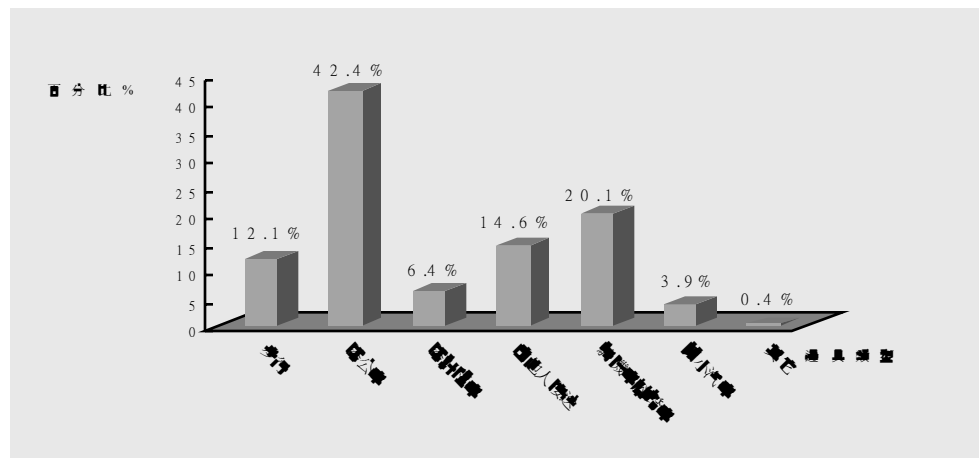
受訪對象的搭乘目的, 以上、下班 486 人及上、下課 486 人; 二者佔所有比



率高達 70%, 其次為休閒、旅遊 124 人(8.9%)、, 購物 104 人(7.5%)、洽公 100 人(7.2%)、其它 88 人(6.4%); 由以上分析可發現本次調查主要係以通勤旅次為主佔 992 人(70%)。

#### (2). 到達目的地運具選擇使用分析

圖五、到達目的地運具選擇使用分析



就到達目的地與運具選擇與使用分析來看 42.4%的旅行者是選擇搭乘公車作為其到達目的地運具之選擇其次依序為騎乘機車腳踏車 20.1%, 再者為由他人接送 14.6%, 步行佔 12.1%, 搭乘計程車 6.4%, 開小汽車 3.9%, 其它 0.4%; 由本分析所作出的調

查結果不難發現,在到達目的地與運具的選擇上仍是以搭乘公車為主要的運輸工具;與劉士仙、邱顯明(民國 84)針對淡水線捷運系統尚未通車前,其交通及土地使用之調查,在淡水線捷運尚為通車前其到達目的地運具是以步行 40%為最高其次才為搭乘公車及騎機車與本次通車後有所不同,主要是因為幾個主要學區現在均有公車路網經過。

#### 四、交叉分析

本研究由於係針對公車轉乘特性作分析故就這部份其基本特性作分析;以此部份中較重要或具代表性之項目進行各因素間的交叉分析;在此本研究先假設主軸性因素包括:「乘客類型」、「使用何種運具到目的地」、「二次轉乘公車意願」、「轉乘二次公車免費」、等四項進行交叉分析。

##### (1)乘客類型與搭乘運具分析

表二、乘客類型與搭乘運具選擇分析

旅客類型 選擇運具	學生	公教人員	工 (製造業)	商 (服務業)	農漁 牧	家管	無	其它	合計
步行	61	15	15	46	1	7	9	14	168 12.1%
搭公車	308	79	29	113	5	24	10	21	589 42.4%
搭計程車	6	14	11	32	6	10	6	4	89 6.4%
由他人接送	74	21	24	51	5	16	7	4	202 14.6%
騎機車腳踏車	119	24	25	83	6	5	6	11	279 20.1%
開小汽車	0	9	5	36	1	3	0	0	54 3.9%
其它	1	0	1	4	0	0	0	0	6 0.4%
合計 (%)	570 41.1	162 11.7	110 7.9	365 26.3	24 1.7	65 4.7	38 2.7	54 3.9	1388 100%

由各類型乘客之所選擇的搭乘工具不難發現,以搭乘公車的乘客類型來作分析可知搭乘公車以學生 570 人佔乘客類型中之 41.1%為最高,其次為一般從事服務業的人群 365



人 26.3%次之；若以整個運具的使運比率來分析則人仍是以搭乘公車 589 人次 42.4% 為最多；其次為騎機車腳踏車 279 人次 20.1%次之；由此可知在整個捷運轉乘其它運具的分析上由於大多數的通勤旅行者仍是以上、下班及上、下學的旅客佔多數因此公車仍是主要的選擇運具。詳見表二。

(2)不願意二次轉乘與乘客類型的分析

表三、不願意二次轉乘與乘客類型

不願意二次 轉乘 乘客類型	轉乘不 方便	不安全	轉乘票 價太貴	旅行時 間太長	有其它 交通工 具	其它	合計
學生	322	18	24	69	121	16	570 41.1%
公教人員	102	9	5	23	20	3	162 11.7%
工(製造業)	69	3	7	8	22	1	110 7.9%
商(服務業)	222	14	16	50	51	11	365 26.3%
農漁牧	19	0	1	1	3	0	24 1.7%
家管	37	3	5	6	12	2	65 4.7%
無	17	3	3	5	10	0	38 2.7%
其它	41	1	0	4	7	1	54 3.9%
合計	829 59.7%	51 3.7%	61 4.4%	166 12%	246 17.7%	34 2.4%	1388 100%

在不願意二次轉乘與乘客類型的分析中以轉乘不方便 829 人 59.7%佔最多；可見於本地區內對於公車的路網規劃並未達實際居民的需求；其次為有其它交通工具可替代 246 人 17.7%次之；以這二種交通工具來看不難看出二種因素均因轉乘不便所延伸出因素。

(3)二次轉乘免費時與不願意二次轉乘乘客分析

表四、二次轉乘免費時與不願意二次轉乘乘客交叉分析

二次轉乘免費 不願意二次轉 乘乘客原因	願意	不願意	合計
轉乘不方便	439	385	828 59.7%
不安全	37	9	51 3.7%
轉乘票價太貴	57	4	61 4.4%
旅行時間太長	88	78	166 12.0%
有其它交通工具	157	88	245 17.7%
其它	18	16	34 2.5%
合計	797 57.5%	580 41.8%	1388 100%

若以二次轉乘免費時與不願意二次轉乘乘客作交叉分析；當二次轉乘免費時因轉乘不方便而不願搭乘者仍高達 385 人不願意搭乘，與劉士仙、邱顯明(民國 84)針對淡水線捷運系統尚未通車前，針對其交通及土地使用之調查中，有 83% 的旅客認為使用轉乘運具方便性最在乎，此與「轉乘不便」正可相呼應；顯見轉乘的不便仍是造成完善的公車轉乘規劃重要因素之一。

(4) 不搭乘公車原因與乘客類型

五、不搭乘公車原因與乘客類型

不搭乘公車 乘客類型	原因	轉乘不 方便	不安全	轉乘票 價太貴	旅行時 間太長	有其它 交通工 具	其它	合計
學生		74	12	3	43	99	22	253 37.2%
公教人員		28	5	2	15	31	7	88 11.2%
工(製造業)		19	4	2	18	25	10	78 9%

商(服務業)	92	7	1	33	78	37	248 31.59%
農漁牧	5	2	0	3	8	1	19 2.4%
家管	15	1	0	4	16	6	42 5.3%
無	7	2	0	3	8	5	25 3.2%
其它	16	2	0	2	7	5	32 4.0%
合計	256 32.4%	35 4.4%	8 1.01%	121 15.3%	272 34.43%	98 12.4%	100%

本調查針對不願搭乘公車之乘客類行與不願搭乘原因進行交叉分析,從分析的結果有其它交通工具可替代使用佔 272 人 34.43%最多,其次為轉乘不方便 256 人 32.4%次;由以上二者可看出對於搭乘捷運的旅客而言,轉乘的交通運具方便與否實是選擇是否搭乘因素之一。

## 五、結論與建議

從本研究不難發現,在捷運轉乘運具選擇上仍以公車佔絕對多數;高達 42.4%;對於現代人而言使用大眾捷運系統是必然趨勢,然而若是光靠整個大眾捷運系統來分散旅客是不夠的最重要的仍是需要其它運具轉運配合方能達到預期目的;因此本研究針對公車在轉運角色扮演上有幾點建議:

### 1. 捷運轉乘公車路網應依實際需求規劃

以本研究所選擇測試地區來看,大多數的公車路網均只依一條重要幹道而設計,並未能深入整個都市中心區域內;且所規劃之路線並未依目前整個都市發展的趨勢進行規劃;就本分析中,所針對二次轉乘免費與不願意二次轉乘旅客所作之交叉分析,不難發現;大部份旅客在二次轉乘免費時仍究不願搭乘;有 385 人佔 35.0%旅客認為轉乘不便是主要因素之一,因此對捷運轉乘路網規劃,應考量整個淡水地區內旅客實際需求規劃,從本研究中旅客目的地不難發現旅客所到之處仍以市中心的幾個里為主,偏遠地區則可考慮設置轉運中心以直達車方式來服務較偏遠旅客,相信必可吸引更多乘客。

### 2. 設置輕軌電車作為市區主要運輸運具

以 21 世紀的今天,在倡導能源節省及降低空氣污染之前題之下,由於輕軌電車的行駛路線、時間、路線、速度及停靠站均為可預知的,對轉乘旅客而言由於對於行駛旅行時間及轉乘地點均為已知,不像一般公車其停靠時間不定;易讓乘客有不確定性以致有不願搭乘公車的意願;而停靠站的不定,則易造成整個車道交通混亂,故若能將目前部份路網改以輕軌電車行駛,作為市區內的短程運輸工具,不僅可降低空氣污染並且可節省能源且旅行者本身亦可自己掌握轉乘訊息,相信必可增加轉乘旅客。

### 3. 轉乘運具選擇調查

由於本研究係針對某一特定地區內潛在之通勤上下班, 上下學旅行者為主, 因此從其所選擇之轉乘運具大多是以公車為主; 另外, 由於該地區假日期間遊客十分之多, 因此假日期間所湧現之旅客更是可觀, 且大多數乘客均無交通工具可轉搭的, 因此在假日之公車路網規劃上及過程中, 對於假日期間的大眾運輸路網規劃則是有待考量及後續研究之探討。

### 參考文獻

1. Atherton T.J. and Ben-Akiva, M., "Transferability and Updating of Disaggregate Travel Demand Model," *Transportation Research*, 610, 1976, pp. 12-18.
2. Ben-Akiva M. and Morikawa, T., "Data Combination and Updating Methods for Travel Surveys," *Transportation Research Record*, 1203, 1989, pp. 40-47.
3. Ben-Akiva M. and Morikawa, T., "Estimation of Switching Model from Revealed preference and Stated Intentions", *Transportation Research*, Vol. 24A, No. 6, 1990, pp. 485-495.
4. 陳敦基、林新敏, 「木柵線捷運系統通車前後個體運具選擇模式比較之研究」, 運輸計劃, 第二十七期, 民國八十七年十二月, 頁 688-694。
5. 陳敦基、許書耕, 「都市個體運具轉換行為模式之可移轉性分析」, 中華民國運輸學會第十屆論文研討會論文集, 民國八十四年十月, 頁 793-799。
6. 劉士仙、邱顯明、陳敦基, 「台北都會區大眾捷運系統初期路網淡水線營運前交通及土地使用調查報告」, 交通部運輸研究所, 民國八十四年十二月。

# 基因演算法應用於公車區位路徑選擇之研究

## A Study of the Application Genetic Algorithm for Bus Location Routing Problem

邱顯明<sup>1</sup> 謝國倫<sup>2</sup>

1.淡江大學運輸管理學系暨運輸科學研究所副教授

2.淡江大學運輸科學研究所碩士班研究生

### 摘要

本研究係利用基因演算法(Genetic Algorithm,GA)及啟發解法,求解捷運轉乘公車的區位路徑問題(Location Routing Problem);提出一套新基因演算法則,以固定基因數目的方式利用本研究新提出的新子代改善法和修正觀念,讓新子代更符合自然法則。本研究所提出的新交配法則,係利用群體位元作為交配單位;最後並與利用啟發解法所求解出的一組最佳路徑及總成本相互作一比較。由於利用啟發解求解過程中經由敏感度分析後發現轉運中心的設置在本測試例題地區並無考慮的必要性,因此在第二部份利用基因演算法求解過程,轉運中心並不納入考量;因此本研究將分別利用啟發解法與基因演算法來求解捷運轉乘公車的佳化路網問題,並以淡水地區為例作為二種演算法的測試和比較。二種搜尋方法所求解出的總成本則是以基因演算法所求解出的總成本最小,二者結果相差3.19%,再再証明GA在網路最佳化的搜尋及應用遠比其它的搜尋方式來得好。單項成本中則以搭乘公車成本(BC)值相差最多,由此更證明基因演算法的平行搜尋方式遠比一般演算法的逐步搜尋方式功能更強。

### 一、前言

由於整體化運輸機能之建立是一都會區捷運系統成敗之關鍵。現有之研究多偏向於以傳統的運算方式來求解以捷運車站為轉運點之路線設計,因此選擇適當之地點提供轉運中心配合規畫之接駁公車及公車路線,才能讓耗資龐大之大眾捷運系統發揮預期之功效。本研究之目的在探討捷運系統之接運公車系統之設計。轉運公車之設計最主要是希望能提高轉運機能,以減少捷運車站附近道路之交通影響。但是經由公車站、轉運中心及捷運車站階層建立之數學規畫方法之區位路徑問題(Location Routing Problem;LRP)為一NP-Hard問題,本研究最主要是以求解轉運中心區位及接駁公車路線安排。研究的整體性考量以轉運中心角度來設計接駁公車系統,提供決策者參考。模式之設計將在使業者及使用者總成本最小下增加捷運系統之可及性及服務面積。傳統之區位路徑模式乃是將區位選擇及路徑安排視為相關之決策,以須同時追求其組合之最佳化。此一問題乃網路最佳化問題之一,因為它的解答可視為在一網路上選擇一個由節線與節點組成之解集合。此種問題之相關研究較純區位問題及純路徑問題之研究相對要少些。這乃肇因於兩者之組合最佳化之需求至最近才為相關學者接受,以及此一問題為一相當複雜NP-Hard問題。因此現有之解題演算法多為求得近似解之合理啟發解法(Heuristics)。直到最近才有一些唯一解之解題方法,不過多半針對特定區位路徑問題,而無法運用於一般之問題。而當網路規模過大時,則由於求解過程過於繁複,如採用一般傳統性方法來決定最佳化之技巧,則因為網路分析之工作繁複且所需之計算工作費時甚久。所以為求快速而有效解得問題之解答,相關研究習慣上皆採用啟發式解法。此法可取得近似最佳解之較佳解,但這些解法一般多根據求取局部最佳解之局部搜尋法;因此為驗證二者之間的差異性及可行性,本研究將利用基因演算法及啟發解法進行例題測試。

## 二、問題描述

捷運系統具有速度快、運量大之特性，大多扮演走廊式的運輸角色，而為了讓它能更擴展其服務的範圍，則必需仰賴有良好之接駁公車系統，因此本研究將以有關捷運及公車路網整合以探討捷運路網中之捷運車站作為起點，以已知之公車站來決定捷運轉乘公車之路網之設計，以旅客總旅行成本及業者營運成本總合最小為目標，藉由其二者的交互損益關係之數學模式，來設計趨近於最適化之捷運系統轉乘公車路網。從上述所述，本研究從營運的供給點即捷運車站及使用者的需求立場來考慮，可建立一個非線性數學規劃(Nonlinear Programming, NLP)模式，在這個式中其決策變數則可包括：公車站指派之變數(W)，路線上連接變數(X)，及公車服務頻率(F)

本模式所考慮之成本旅客總旅行成本及業者營運成本概述如下：

### (A) 旅客之旅行成本

旅客之旅行成本主要有旅行時間成本及轉車損失成本，前者又分為等車時間成本(包括捷運及公車)，車內搭乘時間成本及步行到車站的時間成本；其中，旅客步行至公車站所耗的步行時間成本並不影響公車路線選擇，所以在此並不考慮；由於捷運班次密集，為了簡化模式，我們將等待時間成本及車內旅行成本合併為搭乘捷運使用者成本計算。故本模式使用者成本僅考慮搭乘捷運使用者成本項、公車搭乘時間成本項、公車等候時間成本項。

### (B) 業者營運操作成本：

業者營運操作成本乃包括車輛營運總成本、管理成本、車輛擁有成本、貯車場建造或租賃成本、司機人工成本....等。本模式將簡化合併為公車營運操作成本。另外，公車站的設置成本，本模式則簡化為設置成本項。

茲將本模式之目標式及限制式說明如下：

#### 一、目標函數

$$\text{MIN } Z(W, X, F)$$

$$= RC + BC + WC + BOC$$

本模式係以每小時總成本最小為目標函數，其包括以下項成本項目，茲分別說明內容如下：

#### (1). 搭乘捷運使用者成本(RC)

乘客使用捷運之成本約可分為車內成本(R<sub>r</sub>)及等候成本(R<sub>w</sub>)，一般捷運車內旅行成本計算式為：

$$R_r = \sum_{j=I+1}^{I+J} \lambda_r \frac{d_{js}}{V} \left[ \sum_{i=1}^I q_i * W_{ij} \right]$$

$$R_w = \sum_{j=I+1}^{I+J} \lambda_w \frac{1}{2f} \left[ \sum_{i=1}^I q_i * W_{ij} \right]$$

$\lambda_r$ : 捷運車內旅行時間成本(元/人-小時)

$\lambda_w$ : 捷運等候時間成本(元/人-小時)

$V$ : 捷運營運速率(公里/小時)

$f$ : 捷運班次頻率(班/小時)

$d_{js}$ : j到s的距離(公里)

$q_i$ : i點的需求量(人/小時)

$W_{ij}$ : 表公車站I到j的0-1決策變數

1:表I點指派至J捷運站

0:表I點指派至J捷運站

式中,I:公車站數, J:捷運車站數

(2).旅客搭乘公車車內行駛時候成本(BC)

$$BC = \frac{\lambda_b}{2} \left\{ \sum_{k=L+1}^{L+K} \left( \sum_{h=1}^{I+J} d_{ihk} * X_{ihk} \right) (\bar{q}) + \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^{I+J} q_i * X_{ihk} \right\}$$

式中,h:節點指標(公車站,捷運站)

U:公车的平均速率

$\lambda_b$ :旅客搭乘公車時間價值(人/小時)

$X_{ihk}$ :k路線上I與h的连接變數

1:表k路線上i與h相連接

0:表k路線上i與h未相連接

(3).等候公车的時間成本(WC)

$$WC = \lambda_w \left\{ \sum_{k=L+1}^{L+K} \frac{1}{2F_k} \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^{I+J} q_i * X_{ihk} \right\}$$

式中,  $\lambda_w$ :旅客等車之時間價值(元/人-小時)

$F_k$ :路線k的公車服務頻率(班/小時)

(4).公車營運操作成本(BOC)

$$BOC = 2\lambda_0 \sum_{k=1}^{k+L} F_k \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^{I+J} d_{ih} * X_{ihk}$$

式中,  $\lambda_0$ :公車單位操作成本(元/人-小時)

$F_k$ : 路線k的公車服務頻率(班/小時)

二、限制式:

(1).每一公車站均只對應一捷運車站

$$\sum_{j=I+1}^{I+J} X_{ihk} = 1$$

(2).每一公車站只屬單一路線

$$\sum_{h=1}^{I+J} X_{ihk} - \sum_{m=1}^I X_{hik} \geq 0$$

(3).每條路線容量

$$\sum_{i=1}^I q_i \sum_{h=1}^{I+J} X_{ihk} \leq BC * F_k$$

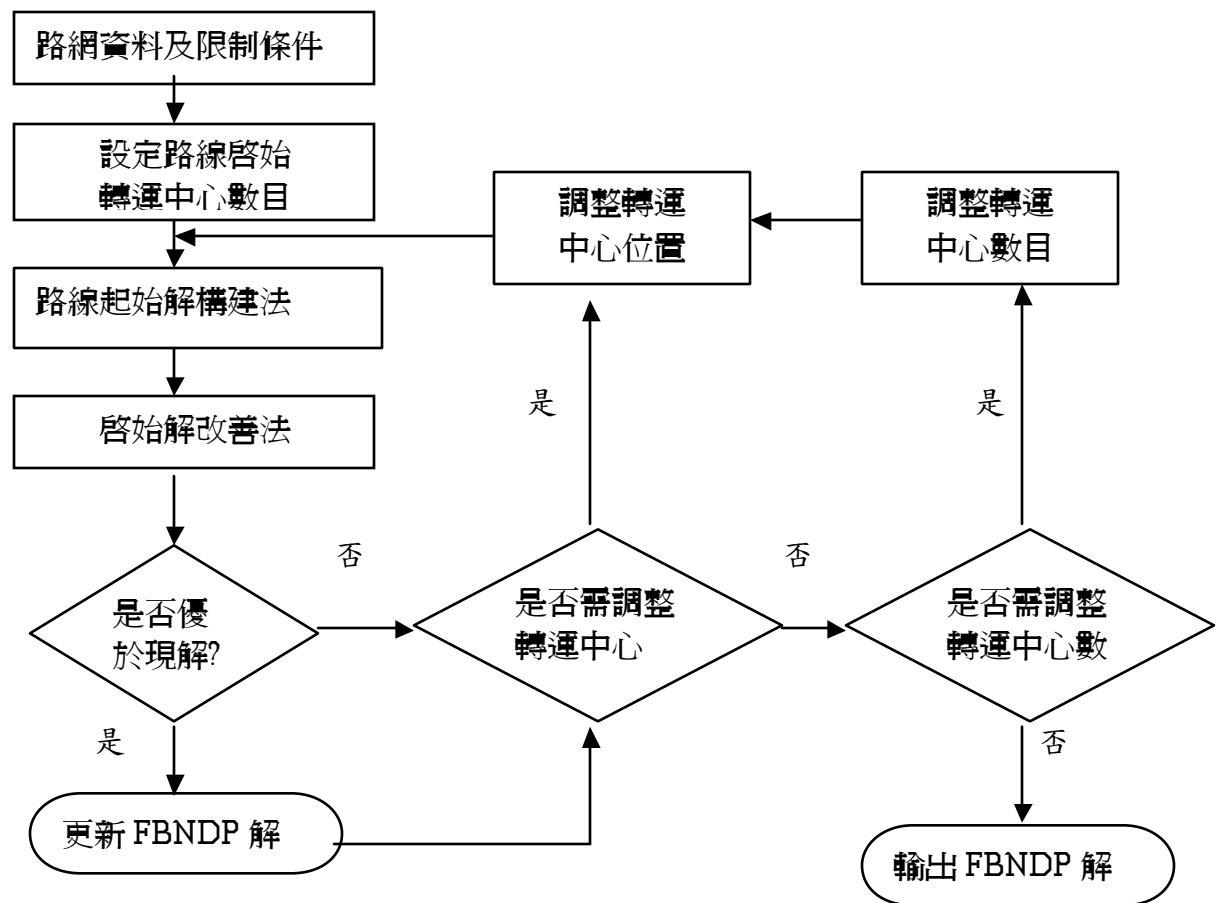
BC:為公車容量

(4).每條路線長度限制

$$\sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^{I+J} d_{ih} X_{ihk} \leq D_{\max} \quad ; \quad \text{式中 } D_{\max}: \text{最大路線長度(公里)}$$

### 三、啟法解法之建立

就演算法而言，由於LRP已被證明是NP-Hard問題(Karp,1971)，若以公車站數為10,捷運站數為5之問題來看，其形成之條件式至少上千條。由於計算機經由儲存和排序次數隨公車站或捷運站數增加將使問題更顯複雜;因此，使用傳統規範性模式求取最佳解(Exact Solution)，幾乎變成是種不可能的事。因此，一般都採取近似解(Approximate solution)之啟發式解法(Heuristic Approach)來求解,對Feeder Bus Network Design Problem(FBNDP)可以說是建立了更具效率的啟發式(Heuristic method)求解方法，以便能快速求得此問題的近似最佳解(Near Optimal Solution)，並提高實際應用之可行性。本研究依據FBNDP之系統特性，設計啟發式解法，其基本想法乃參考階層性區位選擇問題解法(先決定設施數目再安排區位)及VRP之二階段路線(TWO phase II Method)設計求解法，作法上近似求解LRPS之Location-Allocation-Routing(LAR)步驟，即先定區位再作路線安排，再以調整區位作為改善，重複LAR步驟，因此本研究先利用啟發式求解以便和基因演算法作比較;整個求解的流程設計架構如下圖：



圖一.本研究之FBNDP 啟發式解法之架構圖



本研究之FBNDP啟發式解法所求解出來的結果發現,整個總成本為238217元/小時,其中以公車的單位操作成本(BOC)為69082元/小時最高;因此本研究特別利用公車的單位操作成本( $\lambda_b$ )進行敏感度分析,以瞭解相關參數對於轉運中心的設置影響性,結果發現由於設置轉運中心所需轉車所造成之損失成本(TPC)則因為操作成本上昇改變整個路網結構,使其不易形成轉運路網;當公車的單位操作成本( $\lambda_b$ )大於80之後,其整個的轉運需求量則變為0,代表無轉運路線存在,在此說明了當公車的單位操作成本( $\lambda_b$ )很高時,轉運中心的設置將增加公車營運路線長度,使營運成本大幅提昇,故依目前現實狀況,轉運中心並不宜設置。

#### 四、基因演算法

基因演算法由於其平行搜尋能力已被廣為應用於NP-Hard之組合最佳化問題。國內外之相關研究極多,但尚未發現有應用於區位路徑問題,本論文現僅取下列相關基因算法之研究加以探討作為開發區位路徑基因演算法之參考;潘順興(1996)探討基因演算法於配送點選擇之應用,並建立反應配送點的設置或取消成本,貨物運送成本及貨物持有成本這三個重要因素,並根據現實情況所建構的多因子非線性數學模式。此研究針對了突變在早期系統搜尋時的重要性以及晚期造成偏差的缺失,將傳統的基本架構加以修改,提出了一個採用適應性搜尋策略的系統架構,已進一步加強基因演算法之效益。Hurley et al.(1995)應用基因演算法於選擇新設施區位以加強並改善現有設施之獲利力及吸引力。Adeli和Cheng(1993)建議以加入懲罰函數來處理有限制條件之最佳化問題。Miranda et al.(1994)則將基因演算法應用於多層次配送網路問題上,並探討此法在多評準決策模式之應用。曾國雄等(1996)以基因演算法為基準,提出樣板路徑觀念發展出一套適用於旅行推銷員問題之混合基因演算法(TPGA)此法具有以下幾項特性(1)用雙向指標式資料結構辨識樣板路徑(2)使用單父代複製運算以降低記憶體需要(3)固定以樣板路徑為一父代並重新定義交配運算(4)以2.exchange和shift.exchange為突變運算。為了避免如Grefenstette(1987)指出在TSP中,此一方法容易陷入局部最佳解。曾君結合了模擬退火法(Simulated Annealing, SA)和門檻接受法(Threshold Acceptance, TA)的觀念,以一個門檻值配合隨機亂數選用的樣板路徑來避免此一現象。謝浩明與梅明德(1997)利用基因演算法來求解容量限制分群問題,運用SUGAL運算輔助軟體求解,並另以貪心啟發解法及LINDO求解,再就這三種解答正確性及計算速度作一比較;王日昌(1997)利用基因演算法之平行處理能力發展出動態權重模式,以旅行推銷員問題的國際題庫驗證基因演算法之績效,提出可解決此一問題之多目標基因演算法。

在求解組合問題之最佳化時,當所要搜尋之解答空間很大,非線性且複雜,而且對於可能解答一無所知,正是使用基因演算法(Genetic Algorithm)之最佳時機。這是傳統決定式最佳化技巧或貪心原則所無法做到的。基因演算法是Holland於1975年首先提出來,它乃是模擬生物演化過程所推行出來的一種演算法,其演算流程大致可分為(1)複製(2)交配(3)突變三個步驟。基因演算法具有平行處理能力並不是如電腦硬體架構般顯而易見,而是巧妙地隱藏在其演算架構中。靠著散佈在解答空間中的各點同時探索不同之區域;如此每一個回合之演進,再加上隨機式的搜尋,使得這個方法有更多機會能夠跳脫空間中局部最佳解之陷阱。由於這種特性,使得基因演算法成為現今眾所矚目的焦點。本研究利用基因演算法求解捷運轉乘公車具有幾項優點:

(1).同時以一個群體的點進行平行搜尋,而不是單獨的一個點。

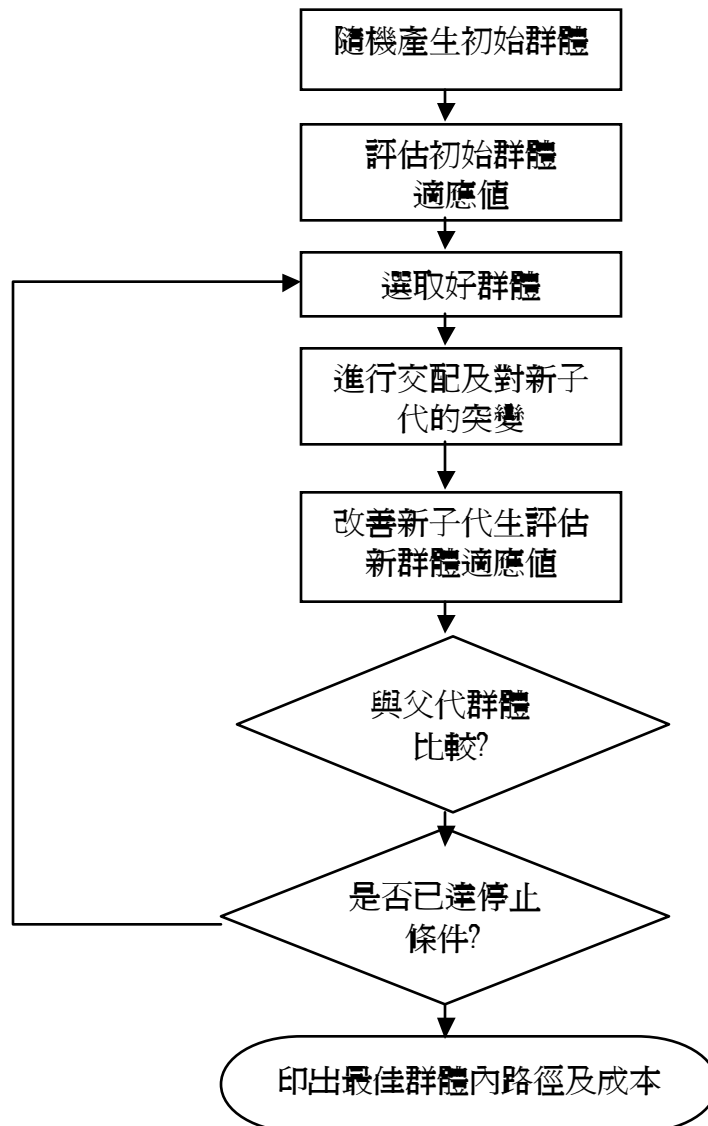
- (2).在每一個世代間的轉換採以隨機的方法進行,與傳統方式固定的形態不同。
  - (3).在開始操作後,僅需考慮參數編碼字串,而不需考慮其它特殊的限制。
  - (4).操作時唯一之資訊為評估函數值,不需要其他特定資訊來進行搜尋,較為單純。
  - (5).可經由突變率及母體大小參數來控制搜尋空間。
- 捷運轉乘為一個NP-Complete之最佳化問題，缺乏有效之正確解法，GA可以在對不同問題的特別設計與瞭解下，嘗試尋找更有效的近似解。

### 五、基因演算法求解捷運轉乘公車的LRP基本架構

本研究利用基因演算法求解捷運轉乘公車的LRP其基本架構及流程如下：

#### 1. 初始族群的產生(Initial Population)

利用亂數產生第一代的族群,因是以隨機方式產生故其解對於原問題而言可能會是很差的解或是不可行解,不過由於是由電腦模擬產生故應使啟始解盡量隨機分佈,以增加搜尋的廣度,本研究則仍採隨機方式產生。



圖二.本研究之 FBNDP 基因演算法之流程架構圖

## 2.新子代的產生過程

利用電腦所產生的原始族群後，GA再以複製(Reproduction)、交配(Crossover)突變(Mutation)及改善等四個運算過程來產生新的下一代的個體其過程，分別說明如下：

(1) 複製：各染色體的自我複製，保留原染色體的一切特性，完全複製一個相同的個體，本研究所進行複製的機率與個體的適合度值是成正比，適合度高者自我複製到下一代的機率就較大。一般而言最常使用的選擇方法為所謂的「旋轉輪盤法(Roulette)」，適合度越高者，其所佔據輪盤的百分比就越大，被選中的機率就較大。本研究即利用該方式，作為選取依據。

(2) 交配：由兩個不同父代的個體分別擷取部份的基因，由於本研究係探討多條最佳路線因此本研究提出一新交配法則“群體位元交配”；各群體內的染色體的交配係以整體位元作交換，經由染色體相互交換組合成為一個新的子代個體，二個體相互交換資訊、來尋找更佳解的效果，但對於基本的基因形態並未有太大的改變。

(3) 突變：為避免運算過程中最佳解出現的基因形態，形成過早收斂(Premature convergence)，或是在搜尋的方向陷入局部最佳解之中，因此利用基因突變適度的隨機性過程，來增加不同搜尋方向，而由於突變機率並不會很大，因此不會形成完全隨機的極端情形。

(4) 改善：本研究提出川流模式(River Model)改善法；此一新的基因運算法則，最主要是在此加入一改善修補動作，最主要是希望在產生新子代後，在“先天不良之下，後天改善”，以令產生出的新子代更符合自然的自然法則；改善的方式則是在各個新子代中分別判斷其所產生的路徑是否重複或缺少原先的公車站。

## 3.新生代評估方式-適合度

經過改善後新子代進行適合度函數(Fitness Function)計算以評估各群染色體之優勝劣敗，本研究直接採用問題的目標函數，將該群染色體所計算出的值與原問題之值做比較。

## 4.產生的子代取代父代

新染色體產生後，若其適應度若較父代為佳則取而代之，但若以避免過早收斂的觀點考慮，則部份目前適應度較低的個體，或許在後續世代會演化成為真正最佳解，因此若接受少數較差的父代繼續留存，對於後續的求解可能會有所幫助。

## 5.停止條件

本研究係以運算總世代數作為停止運算的條件，也有利用前後世代之最佳適應度改進大小，決定是否停止運算。

## 6.問題編碼及解碼方式

編碼方式為族群實際運作的依據，通常依問題特性來加以考量，目前最簡單的編碼方式是二元編碼(Binary Coding)，以0，1來當作基因用來表示問題之特性，由於本研究係求解一組多條最佳路徑，因此在編碼方式則採二維矩陣式編碼。本部份將說明編碼方式，由於本問題係求解一群最佳解，因此本研究將採固定字串長度(Fixed String Length)FSL的方式採用二元矩陣編碼方式，以下述排列之染色體編碼範例，來表示本問題。由於係採用固定字串長度因此在產生子代中若未達預設長度時，該字串內將以0替代。

例如：現在固定字串是九站，以2,6,9捷運站為出發站；而隨機第一次產生的路徑為9,30,31,32，經判斷未達預設長度，因此經電腦重新修正後產生的新字串則為9,0,0,0,30,31,32,0,0詳細二維矩陣編碼方式如下表所示：

表一、FSL (Fixed String Length)之二維矩陣式編碼

路線 車站次序	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	2	6	9	2	6	9	2	6	9	2	6	9
2	1	0	16	23	27	0	33	35	39	42	0	0
3	3	0	15	21	28	0	34	0	40	43	0	0
4	4	8	17	22	29	0	0	36	41	44	0	0
5	5	12	18	25	0	30	0	37	0	45	0	0
6	7	13	19	26	0	31	0	38	0	46	0	0
7	0	14	0	24	0	32	0	0	0	0	0	0
8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

本研究以六個位元為一基因，各基因代表一個公車站，故可代表64個車站 ( $0 \sim 2^6$ )，染色體長度如下式所示：

$$\text{串列長度 (string length)} = \text{公車站位元數} * \text{公車站數}$$

#### 7. 基因運算子

包含複製、交配及突變等步驟，由於使用二維編碼及利用改善修正路徑來處理新子代，因此不會有其他不可行解情形出現，因此不須特別設計運算子操作方式。由於本研究係探討一組多條最佳路徑，因此最小的基因單位為公車站，在突變的過程中即以隨機每一站作為突變的方式。

#### 8. 適合度計算

捷運轉乘問題係一成本極小化之問題，利用目標式使每一公車指派到各站所在之總指派成本最小化，作為每一個體之基本適應度。各公車站到捷運車站遠行距離，是利用真實路網（淡水地區）的最短路徑矩陣，存成檔案，再置於GA軟體中讀取，對應各個染色體之分群及種子計算出總指派成本。

### 五、例題測試

本網路資料是淡水地區的路網資料，分別利用啟發式解法與基因演算法求解；淡水地區(包括三芝鄉)的實際路網資料，依行政區劃分成46個區，以竹圍(代碼2)，紅樹林(代碼6)，及淡水站(代碼為9)三捷運站為出發點；利用啟發解及基因演算法所求解之相關參數設定及最佳路徑，成本如下表

表二、實例應用參數設定表:

參數	名稱	數值	單位
$\lambda_r$	搭乘捷運使用者單位成本	1.7	元/人-公里
$\lambda_o$	公車單位操作成本	40	元/車-公里
$\lambda_w$	旅客等車時間價值	200	元/人-小時
$\lambda_b$	旅客搭車時間價值	118	元/人-小時
$T$	單位旅次轉運損失成本	2.5	元/人-次
$U$	公車平均操作速率	40	公里/小時
$L$	最大路線長度	25	公里
$Q$	公車站平均每小時需求量	80	人-小時

## 5.1 利用啟發解求解結果

表三、啟發解求解結果

路線編號	路線結構	計算後相關成本
01	9-30-32-33-36-37-40-41-39-42	搭乘捷運使用成本(RC)=30383(元/小時)
02	6-12-17-17-21	搭乘公車成本(BC)=69670(元/小時)
03	6-35-44-38-43-45-46	公車操作營運成本(BOC)=69082(元/小時)
04	9-11-15-23-26-28	等候公車成本(WC)=69082(元/小時)
05	9-8-10-14-20	使用者成本=169135(元/小時)
06	2-1	業者成本=69082(元/小時)
07	9-13-16-19	總成本(TC)=238217(元/小時)
08	2-3	
09	9-29-34-31	
10	6-7-22-24-25-27	
11	6-5	
12	6-4	

## 5.2 基因演算法求解

本研究利用的Visual Basic 5.0軟體來撰寫測試用程式,相關的測試方式、參數及結果分別說明如下:

## 5.2.1 參數設定

本研究在運算當中包含相關輸入、輸出檔案之格式設定,及有關編碼染色體長度、運算子操作的方式及修正改善方式突變機率、世代數等項。設定方式是直接利用命令列參數的方式設定。測試過程採隨機產生的路線組合,個別屬性如下表四:

表四、基因演算法相關參數設定組合

參數名稱	參數值	參數名稱	參數值
Population size	30	Mutation	Invert
Selection	Roulette	Mutation rate type	Per gene
Crossover	Population Bite	Normalization	River Model
Generation	600	Replacement condition	Annealed

表五、以固定基因長度方式利用基因演算法所求解結果

路線編號	路線結構	計算後相關成本
01	9-10-14-34-35-41-43-44-45-46	搭乘捷運使用成本(RC)=30393(元/小時)
02	6-24-27-29-31-37-38-39-40-42	搭乘公車成本(BC)=62773(元/小時)
03	9-11-13-15-16-25-30-32-33-36	等候公車成本(WC)=68724(元/小時)
04	2-1-4-5	公車操作營運成本(BOC)=68724(元/小時)
05	6-7-22	使用者成本=161891(元/小時)
06	6-17-26	業者成本=68724(元/小時)
07	9-19-20	總成本(TC)=230615(元/小時)
08	9-23-28	
09	6-12	
10	2-3	
11	9-8	
12	9-18-21	

## 五、結論與建議

本研究測試計有利用3個捷運站及40個公車站。利用Visual Basic 5.0軟體撰寫基因演算法之輔助軟體及利用啟發解法求解捷運轉乘公車之路網規劃,在本研究之過程中發現一些重要的結論及建議在此謹整理概述如下:

1. 本研究利用啟發解法所求算之結果發現,以啟發解法所求算出的最佳解,經由敏感度分析之後發現並無設置轉運中心的必要性,因此在第二部份利用基因演算法求解的過程中,有關轉運中心設置與否本研究並不納入考慮。
2. 在整個研究的過程當中最主要係希望配合捷運轉乘以規劃公車的路網設計,因此原先主要係以提出進行轉運中心設置時之路網設計,在此除考慮路線容量,服務班次或營運計劃等因素外,經由敏感度分析後我們發現轉運中心的設置,在服務面積區域不大之下,設置轉運中心可能徒增業者的沉沒成本,以及使用者轉乘時的等候時間,使得使用者的搭乘意願降低。
3. 基因演算法之運算軟體在運用於捷運轉乘公車之路網設計上由於轉乘係屬於一種NP-hard問題,因此在使用的過程之中,從一開始對於隨機產生群體內的路徑及編碼到整個以複製(Reproduction)、交配(Crossover)突變(Mutation)及對新子代的改善等四個運算過程經過數代的搜尋來產生一組最佳的新路徑;雖然在整個的運算過程

中由於本研究係以整群位元作交配,且利用新改善方式作為子代的修正工作,因此整個的運算過程所需時間較普通的基因演算法則以懲罰值方式來改善子代來得慢;但是若從整個的運算過程中來看,不難發現基因演算法確實比傳統的演算法不管在搜尋速度或功能均強大許多。

4.本研究以基因演算法的強大搜尋功能作為例題測試,在此建議轉運中心的設置的問題將來應用於規模較大的路網規劃設計中來設置,使轉運中心的設置更符合成本及方便性;以本例題所選用的測試地區(淡水地區)而言,由於服務的範圍面積並不大,因此並無必要設置轉運中心;相對的若將來以整個大台北地區(包括台北縣(市)、基隆市)作為測試的範圍,不但能使大台北捷運路網服務地區範圍更大,更能使整個捷運系統能真正發揮其功能,因此建議將來可選用大範圍地區來作為測試。

5.在利用啟發解式求解最佳路網過程中,發現利用啟發解法所求解的結果與基因演算法所求解出的最佳解搭乘公車成本(BC)值相差最多,其餘幾項之成本則相差不遠,由於搭乘公車成本(BC)最主要係與最佳路線長度有關;因此當以基因演算法進行最佳營運路線搜尋過程中,由於基因演算法最主要係以平行搜尋方式進行,遠比一般演算法的逐步搜尋方式所能找到的點來的更為廣泛,由此更證明基因演算法其平行搜尋能力確實比傳統的演算法功能強大許多。

## 參考文獻

1. 林仁生,「捷運與公車的整合」,現代營建,第十九卷,第四期,民國八十七年二月。
2. 謝浩明,梅明德,「遺傳演算法求解容量限制分群問題上」,中華民國第二屆運輸網路研討會,PP149~158,民國八十六年十月。
3. 潘順興,「遺傳演算法應用於配送點選擇之研究」,中央大學資訊管理研究所碩士論文,民國八十五年六月。
4. 鄭博王,「以遺傳演算法及類神經網路應用於旅行推銷員問題上」,淡江大學土木工程研究所碩士論文,民國八十四年六月。
5. 張學孔,張美香「捷運路線之接駁公車網路設計」,運輸季刊,第二十三期,民國八十三年三月。
6. 蘇先知,「捷運之接運公車系統設計研究-區位-路徑模式之應用」,淡江大學土木工程研究所碩士論文,民國八十二年六月。
7. 古秀琴,「公車捷運路線配合方案之研究-以北淡線為例」,成功大學交通管理科學研究所碩士論文,民國七十二年七月。
8. 台北市政府捷運工程局,「捷運報導」,第六十九期,民國八十一年十月。
9. 邱榮川,「配合捷運系統公車路網設計方法之研究」,交通大學通運輸研究所碩士論文,民國七十五年六月。
10. 林建元,「區位決策支援系統(區位家三號)之發展」,台大建築城鄉學報民國七十八年六月。
11. 林國顯,「都市公車路網轉車規劃與評估方法之研究」,交通大學交通運輸研究所碩士論文,民國七十五年六月。
12. 施鵬程,「以區位模式輔助郵局區位決策分析之研究(以嘉義市為例)」,交通大學運輸研究所碩士論文,民國八十年七月。
13. 唐富藏,張有恆,「都市大眾捷運系統之接運系統規劃設計」,運輸計劃季刊,第十一卷,第四期,民國七十一年十二月。
14. 翁有立,「捷運系統的接運公車網路設計」,台灣大學土木工程學研究所碩士論文,民

國七十七年六月。

15. Coit D.W, Smith A.E, Tate D.M. 1996. Adaptive Penalty Methods for Genetic Optimization of Const Combinatorial Problems, *INFORMS Journal on Computing* 8(2), 173-182.
16. Hunter A. 1995. *SUGAL Programming Manual*. University of Sunderland, England.
17. Hunter A. 1995. *SUGAL User Manual*. University of Sunderland, England.
18. Thangiah S.R- and Gubbi A.V. 1993. Effect of Genetic Sectoring on Vehicle Routing Problems Windows. *IEEE International Conference on Developing and Managing Intelligent System Projects* 1993.
19. Koskosidis Y.A. and Powell W.B. 1992. Clustering Algorithm for Consolidation of Customer Orders into Shipments. *Transpn. Res.*, 26B(5), 365-379.
20. Bhuyan J.N., Raghavan V.V. and Elayavalli, V.K. 1991. Genetic Algorithm for Clusterin with an Ordered Representation, *Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, 408-415.
21. Goldberg, D.E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison Publishing Company, Inc.
22. Fisher M.L. and Jaikumar R. 1981. A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing. *Network* 109-124.
23. Cornuejols G., Fisher M.L. and Nemhauser G.L. 1977. Location of Bank Accounts to Optimize Float: A Study of Exact and Approximation Algorithms. *Management Science*, 23(8), 789-810.
24. Garey M.R- and Johnson D.S. 1979. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Comp* Freeman, San Francisco.